ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: ELEKTRYKA z.108

Jerzy AUGUSTYN, Józef KWICZALA, Marian MIŁEK, Krzysztof PAJAK

UKŁADY Z MAGNETYCZNYM KOMPARATOREM PRĄDU DO POMIARU BŁĘDÓW PRZEKŁADNIKÓW PRĄDOWYCH

> Streszczenie. W artykule dokonano przeglądu rozwiązań, zrealizowanych w IMEIE, układów do pomiaru błędów przekładników prądowych za pomocą magnetycznego komparatora prądów. Układy te przedstawiono w kolejności ich opracowania - od prostych rozwiązań z nastawianymi ręcznie dekadami do układów sterowanych mikroprocesorem. Dla typowych wartości błędów badanych przekładników, przy częstotliwości 50 Hz, opracowano tor pomiaru z elektronicznym rozdziałem prądu kompensującego na dwie składowe - synfazową i kwadraturową. Prądy strony pierwotnej badanych przekładników prądowych mają wartości od 0,5 do 1000 A. W najnowszym rozwiązaniu - systemie pomiarowym do sprawdzania przekładników prądowych oprogramowanie systemu umożliwia kontrolę parametrów pomiaru błędów badanego przekładnika oraz wydruk gotowych protokołów sprawdzenia. W artykule wskazano również na kierunki dalszych prac nad kompletnymi stanowiskami do badania przekładników prądowych.

Jednym z głównych zastosowań magnetycznych komparatorów prądów zmiennych jest wyznaczenie błędów przekładników prądowych stosowanych w energetyce. Pierwsze wzmianki o próbach wykorzystania komparatorów do pomiarów błędów pochodzą z lat 30^x. Układy wtedy realizowane charakteryzowały się dużymi błędami własnymi. Dopiero zastosowanie ekranów magnetycznych przez Miljaniča oraz dalszy rozwój ich konstrukcji przez Kustersa, Moorda i innych w latach 50-70 umożliwiło realizację komparatorów o błędach własnych rzędu 10⁻⁶... 10⁻⁷. Po udoskonaleniu konstrukcji w kolejnych latach firma TETTEX podjęła produkcję stanowisk do sprawdzenia przekładników prądowych za pomocą komparatora prądów.

W Instytucie Metrologii Elektrycznej i Elektronicznej Politechniki Śląskiej prace nad konstrukcją i technologią komparatorów prowadzone są od około 8 lat. W pierwszym okresie wykonano serię modeli komparatorów, umożliwiających dokładne rozpoznanie zjawisk występujących w komparatorach. Modele te posłużyły do realizacji prostych układów wyznaczania błędów przekładników przedstawionych schematycznie na rys. 1.

Prądy stron wtórnej i pierwotnej przekładnika prądowego są doprowadzone do uzwojeń komparatora prądów w taki sposób, że strumienie magnetyczne w magnetowodzie detekcyjnym (MD) są przeciwnie skierowane względem siebie.

1989

Nr kol. 947

I) Obszerną literaturę światową dotyczącą zastosowań komparatorów zebrano w pracy [8]; zamieszczony w artykule spis literatury obejmuje prace autorów będących wykonawcami prezentowanych rozwiązań.

PP MKP

Rys.1. Schemat podstawowego ukladu wyznaczania błędów przekładnika prądowego za pomocą komparatora pradów

Fig. 1. Diagram of a basic circuit (systems) of the current transformer error determination hv means of a current comparator

J. Augustyn i inni

W wyniku istnienia bledu przekładnika pradowego strumienie magnetyczne związane z prądami w uzwojeniach komparatora (o takiej samej przekładni zwojowej, jaka ma przekładnik pradowy) nie sa jednakowe. Wypadkowy strumień magnetyczny można sprowadzić do zera, wymuszając za pomocą dodatkowego uzwojenia N. strumień kompensujący różnice obu strumieni. Prąd I, płynie przez rezystor R napiecie na tym rezystorze wymusza przepływ prądu I_k w uzwojeniu R_k ograniczony nastawami dekad: pojemnościowej i konduktancyjnej:

$$I_{L} = I_{0} R(G + j \omega C).$$
⁽¹⁾

Stąd zgodnie z definicją blędu przekładnika prądowego w stanie zerowego detektora, a więc w stanie kompensacji strumieni dla N_L = N₂:

$$\delta = \frac{I_k}{I_2} = R(G + j \omega C), \qquad (2)$$

W zależności (1) przyjęto, że impedancja szeregowa uzwojenia kompensującego (N.) jest pomijalnie mała. Jednocześnie w chwili zaniku strumienia magnetycznego napiecie na uzwojeniach porównawczych maleje do zera, pomija jąc niewielkie napięcia na impedancjach szeregowych uzwojeń.

W przedstawionym wyprowadzeniu pominięto błędy własne komparatorów pradów. Jest to uzasadnione, uwzględniając, że wartości tych błędów są o dwa lub trzy rzedy mniejsze od typowych wartości blędów przekładników pradowych. Jednak pominiecie bledów własnych komparatora jest dopuszczalne dopiero po sprawdzeniu, czy ich wartości są wystarczejąco male - rzędu 10⁻⁷... 10⁻⁶. Wyznaczenie tak małych wartości błędów jest łatwe w przypadku przekładni komparatora równej jedności. Dla innych przekładni można stosować trudne w realizacji układy sumujące, kaskadowe, wymagające wzorcowych komparatorów o przekładniach pośrednich [8]. Dlatego opracowano metode transferu prądowego, umożliwiającą w zakresie częstotliwości do kilkuset Hz wyznaczenie błędów komparatora, praktycznie o dowolnej przekładni [4], [8]. Opracowanie tej metody umożliwiło badania kolejnych modeli komparatorów o predach strony pierwotnej do 1000 A. Badania dotyczyły modeli o różnych konfiguracjach ekranów, kombinacjach uzwojeń itd.



Uklady z magnetycznym komparatorem

Dla typowych wartości błędów przekładników badanych przy częstotliwości 50 Hz - nastawy dekad dla stanu kompensacji strumieni przyjmowały wartości niepraktyczne, np. dla dekady pojemnościowej rzędu kilkudziesięciu lub kilkuset µF. Dlatego opracowano tor, w którym wymuszenie prądu I jest realizowane na drodze elektronicznej - rozdzielając ten prąd na dwie składowe. Stąd napięcie I₂R doprowadzono do dwśch torów w sposób przedstawiony na rys. 2, - na ich wyjściu otrzymano składowe prądu I_k (I'_k, I'_k), proporcjonalne do składowych błędów przekładnika. Prąd I'_k wymusza strumień kompensujący składową strumienia będącą w fazie ze strumieniem spowodowanym prądem I. - odpowiada on składowej prądowej błędu przekładnika. W drugim torze napięcie I₂R jest doprowadzone do przesuwnika fazowego. Przesunięcie kąta fazowego o N/2 powoduje, że składowa I'ⁿ w stanie kompensacji strumieni odpowiade składowej kątowej błędu przekładnika.

Prądy te można doprowadzić do jednego uzwojenia kompensującego (N_k) W sposób analogiczny do przedstawionego na rys.1 lub do dwóch uzwojeń (N_k, N_k) rys.2. Rozwiązanie takie umożliwia między imnymi realizację jednakowych torów przetwarzania dla obu składowych błędów - dopasowanie wartości błędów można osiągnąć poprzez niezależną zmianę liczb zwojów obu uzwojeń, zmianę ich znaku - poprzez zmianę końcówek uzwojeń. Wartości prądów Γ_k oraz 1. wymuszano zmieniając wzmocnienia wzmacniaczy napięciowych.



Rys. 2. Schemat obwodów równoważenia komparatora Fig. 2. Diagram of comparator balancing circuits

Dalszy kierunek prac, dotyczący układów samorównoważenia komparatora, wymagał opracowania, do badania tych układów, wzorcowego toru równoważenia ręcznego, umożliwiającego ocenę torów samorównoważenia. Jako elementy nastawne w torze wzorcowym, umożliwiające dokładne nastawy składowych błędów, zastosowano indukcyjne dzielniki prądowe. Prądy wejściowe dzielników, przedstawionych na rys. 3, są wymuszane za pomocą dokładnych prze-

31,

tworników U/I, przy czym w torze służącym do wymuszenia składowej kątowej błędu znajduje się dodatkowo przesuwnik fazy. Napięcie do wejścia torów prądowych doprowadzono z rezystora R, przez który przepływa prąd strony wtórnej dwurdzeniowego transformatora z minimalizacją błędów przekładni za pomocą układów aktywnych [6], [7]. Zastosowanie tego transformatora redukuje w znacznym stopniu impedancję wprowadzoną przez stopień wejściowy układu równoważenia do obwodu strony wtórnej przekładników prądowych oraz umożliwis galwaniczną izolację torów rownoważenia od obwodów prądów przekładnika.



Rys. 3. Schemat wzorcowego układu równoważenia komparatora Fig. 3. Diagram of comparator balancing standard circuit

Kolejnym etapem było opracowanie układów samorównoważenia komparatora. Zagadnienie to omówione zostało szerzej w pracach [1], [3], [8], a na rys. 4 przedstawiono najprostszy sposób realizacji samorównoważenia komparatora. Napięcie U_D z uwzojenia detekcyjnego doprowadzone jest na wejście wzmacniacza wymuszającego w uzwojeniu kompensującym prąd I_k o takiej wartości, aby U_D \rightarrow 0. Wyznaczenie wartości błędu wymaga obliczenia stosunku prądów - podzielenim dwóch wartości zespolonych. Operację



Rys.4. Schemat podstawowego ukladu samorównoważenia komparatora

Fig. 4. Diagram of comparator self - balancing basic circuit tę można wykonać w technice analogowej, stosując złożone układy elektroniczne lub stosując mikroprocesor. Wymaga to jednek rozkładu prądu I_k (lub napięcia reprezentującego ten prąd) na dwie ortogonalne składowe, proporcjonalne do odpowiednich składowych błędów badanego przekładnika. Schemat ideowy stanowiska z komparatorem prądów wspomaganym mikroprocesorem przedstawiono na rys. 5 [2, 3].

Układy z magnetycznym komparatorem

Prąd I₂ doprowadzono również do uzwojenia pierwotnego transformatora dwurdzeniowego z minimalizacją błędów za pomocą układów aktywnych. Dodatkowe doprowadzenie napięcia strony wtórnej przekładnika prądowego umożliwia kontrolę warunków pracy przekładnika – określenie mocy obciążenia strony wtórnej, przeliczonej na warunki nominalne S_{N2} oraz współczynnika mocy obciążenia cos **W**.



Rys. 5. Schemat stanowiska do sprawdzania przekładników prądowych za pomocą komparatora prądów wspomaganego mikroprocesorem

Fig. 5. Diagram of a stand for current transformer testing by means of a current comparator assisted by microprocessor

Oprogramowanie systemu umożliwia wydruk gotowych protokołów badania przekładnika obejmujących nagłówek z miejscami przeznaczonymi na wpisanie danych przekładników oraz tablice błędów dla nastawianych prądów przekładnika przy różnych przekładniach. Włączenie w obwód strony wtórnej przekładnika standardowego obciążenia umożliwia badanie przekładników prądowych przy wymaganych przez normy obciążeniach.

Odrębnym zagadnieniem jest minimalizacja obciążenia wprowadzanego przez komparator do obwodów strony wtórnej przekładnika prądowego. Zagadnienie to omówione w sposób ogólny w pracy [8] jest przedmiotem dalszych, szczegółowych opracowań [2].

Prowadzone są dalsze prace, zmierzające do ograniczenia funkcji części analogowej układu. W torze samorównoważenia komparatora zostaną zastosowane mnożące przetworniki C/A, których napięcie odniesienia będzie proporcjonalne do prądu wtórnego przekładnika. Wykorzystanie układów detekcji fazoczułej napięcia detekcyjnego U_D umożliwi otrzymanie wartości składowych błędu przekładnika **o**_I, $T_{\rm I}$ bezpośrednio na podstawie stanu wejść cyfrowych przetwornika C/A. Należy zauważyć, że opracowywane rozwiązania układu jest wyrazem ogólnej tendencji w konstrukcji aparatury pomiarowej, dotyczącej możliwie najszybszego przetworzenia sygnałów analogowych na cyfrowe. W opracowywanym rozwiązaniu szczególną zaletą takiego przetwarzania jest zmniejszenie wpływu zakłóceń pola elektromagnetycznego na układ pomiarowy.

LITERATURA

- [1] Augustyn J.: Metody samorównoważenia magnetycznego komparatora prądu przemiennego. Materiały konferencyjne XVIII MOK-85. Zielona Góra 1985.
- [2] Augustyn J., Milek M., Pajak K.: The measuring position for evaluate current transformer errors by means current comparator to help microprocessor. EMISCON'87. Gottwaldov 1987.
- [3] Augustyn J., Milek M., Pająk K., Tokarski J., Wiechula P.: Stanowisko do wyznaczania blędów przekładników prądowych za pomocą komparatora prądów wspomaganego mikroprocesorem. VII Krajowa Konferencja Metrologii i Budowy Aparatury Pomiarowej. Wrocław 1986.
- [4] Kwiczala J.: Metoda transferu prądowego i jej zastosowanie do wzorcowania komparatorów prądów przemiennych. Praca doktorska. Gliwice 1983.
- [5] Kwiczala J., Miłek M.: Magnetyczny komparator prądów przemiennych w układzie wzorcowania przekładników prądowych. Wiadomości Elektrotechniczne 19-20. 1981.
- [6] Met A.: Minimalizacja blędów transformacji napięć i prądów za pomocą układów aktywnych. Praca doktorska. Gliwice 1985.
- [7] Met A.: Układy elektroniczne do minimalizacji błędów transformatorowych wzorców przekładni. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. Elektryka 92, Gliwice 1984.
- [8] Milek M.: Magnetyczne komparatory prądowe konstrukcja, technologia, zastosowanie. Monografia. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. Elektryka 90, Gliwice 1984.

Recenzent: Doc. dr hab. Antoni Wysocki

Wpłynężo do Redakcji 15 września 1987 r.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ С КОМПАРАТОРОМ ТОКОВ ДЛЯ ИЗШЕРЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Резюме

Статья содержит обзор, исполнений схем с компараторами токов для измерения погрепностей трансформаторов тока, осуществленных Институтом Электрической и Электронической Метрологии. Эти схемы приводятся соблюдая очередность их разработки от простых исполнений с ручной установкой декад к схемам управлямых микропроцессором.

Układy z magnetycznym komparatorem ...

Для типичных величин ошибок испытываемых трансформаторов тока, для частоты 50 гц, разработана цепь измерения с разделением компенсующего тока на два составляющие – синфазную и квадратную. Ток первичной стороны испытываемых трансформаторов тока имееть величину от 0.5 до 1000 амперов.

В новейтем исполнении измерительной системы с микропроцессором ирограммное обеспечение даёт возможность контролирование параметров измериения опибки испытываемого трансформатора тока, а также отпечатание комплетного испытательного протокола.

В статье также указаны направления для исследований трансформаторов тока.

SYSTEMS WITH CURRENT MAGNETIC COMPARATOR FOR CURRENT TRANSFORMERS' ERRORS MEASUREMENT

Summary

A review of the systems, realized in the Institute of Electric and Electronic Metrology, for measurement of the current transformers errors by means of the current magnetic comparator has been carried out in the paper. These systems have been presented in the sequence of their development - from simple solutions with decatrons set manually to the systems controlled with microprocessor.

For typical errors values of the tested transducers, at frequency 50Hz, a measurement path with electronic division component and quadrature one has been developed.

The primary currents of the tested current transducers have values from 0.5 to 1000 A.

A software of the measuring system for testing the current transducers - in the newest solution - enables controlling error measurement parameters of the tested transducer and printout of the test reports.

Directions of further work on complete stands for current transducers testing have been indicated too.

35